

Παράρτημα α' – υπολογισμοί κύριων τάσεων

Οι κύριες τάσεις μπορούν να υπολογιστούν εύκολα αφού υπολογιστούν πρώτα, οι αναλλοίωτες του αποκλίνοντος τανυστή τάσεων: J_2, J_3 καθώς και η πρώτη αναλλοίωτη του τανυστή τάσεων I_1 . Υπολογίζεται αρχικά η γωνία του Lode:

$$\theta = \frac{1}{3} \sin^{-1} \left(\frac{-3\sqrt{3}J_3}{2(\sqrt{J_2})^3} \right)$$

Όπου:

$$J_2 = -I_{2s} = \frac{1}{2}s_{ij}s_{ji}$$

$$J_3 = I_{3s} = \frac{1}{3}s_{ij}s_{jk}s_{ki}$$

Όπου $s_{ii} = \sigma_{ii} - I_1/3$

Οι κύριες τάσεις υπολογίζονται από την I_1 και την γωνία του Lode:

$$\sigma_1 = \frac{I_1}{3} + \frac{2\sqrt{J_2}}{\sqrt{3}} \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$\sigma_2 = \frac{I_1}{3} + \frac{2\sqrt{J_2}}{\sqrt{3}} \sin(\theta)$$

$$\sigma_3 = \frac{I_1}{3} + \frac{2\sqrt{J_2}}{\sqrt{3}} \sin\left(\theta + \frac{4\pi}{3}\right)$$

Ο υπολογισμός των συνημίτονων κατεύθυνσης $[l_i, m_i, n_i]$ της κύριας τάσης σ_i ($i=1,2,3$) γίνεται με την επίλυση του ομογενούς συστήματος εξισώσεων:

$$\left(\begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix} - \sigma_i \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} l_i \\ m_i \\ n_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Η γενική λύση του παραπάνω συστήματος:

$$l_i' = \tau_{xy}\tau_{yz} - \tau_{zx}\sigma_y + \tau_{zx}\sigma_i$$

$$m_i' = \tau_{xy}\tau_{zx} - \tau_{yz}\sigma_x + \tau_{yz}\sigma_i$$

$$n_i' = (\sigma_x - \sigma_i)(\sigma_y - \sigma_i) - \tau_{xy}^2$$

Τα l_i', m_i', n_i' κανονικοποιούνται μέσω της νόρμας d :

$$d = \sqrt{l_i'^2 + m_i'^2 + n_i'^2}$$

Τελικά:

$$[l_i, m_i, n_i] = [l_i', m_i', n_i'] / d$$

Αφού υπολογιστούν τα συνημίτονα κατεύθυνσης για τις κύριες τάσεις $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$, ο πίνακας των συνημίτονων κατεύθυνσης του κύριου συστήματος είναι:

$$[L] = \begin{bmatrix} l_1 & m_1 & n_1 \\ l_2 & m_2 & n_2 \\ l_3 & m_3 & n_3 \end{bmatrix}$$

Παράρτημα β' – μερικές βασικές δομές του x-fem

Δομή στοιχείων

```
struct selement{
int type,node[21],material,status[28],prev_status[28]; //Τύπος στοιχείου, κόμβοι, υλικό,
    συμπεριφορά για κάθε σημείο Gauss για τρέχον και προηγούμενο κύκλο υπολογισμού
float sx[28],sy[28],sz[28],sxy[28],syz[28],szx[28],ep[28]; //Τάσεις στα σημεία Gauss
float xsection; //Διατομή για στοιχεία τύπου δικτυώματος (ανενεργό)
int exclude; //Αποτροπή εμφάνισης στην γραφική έξοδο του συγκεκριμένου στοιχείου
};
```

Δομή κόμβων

```
struct snode{
float x,y,z; //Συντεταγμένες του κόμβου
float rx,ry,rz; //Ελλείμματα ισορροπίας στον κόμβοι
float ox,oy,oz; //Αρχικές συντεταγμένες κόμβου
float mx,my,mz; //Μνήμη συντεταγμένων (buffer)
};
```

Δομή υλικών

```
struct smaterial{
char label[25]; // Ονομασία υλικού
float E,n,sw; // Μέτρο ελαστικότητας, λόγος Poisson,
float cy,fy,fd,smax,H; // Παράμετροι για κριτήρια αστοχίας, H: το εφαπτ. μέτρο κράτυνσης
float s; //
float v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v8,v9; //Τιμές παραμέτρων ανισότροπης – ελαστικής συμπεριφοράς
float a1,a2,a3; // Διεύθυνση κύριου συστήματος ανισοτροπίας
int type; // Συμπεριφορά: 1: ελαστική, 2: μη-γραμμική
int criterion; // Κωδικός κριτηρίου αστοχίας
int anisotropy; // Κωδικός για την ελαστική συμπεριφορά (ισοτροπική – ανισοτροπική)
int anisoplastic; // Κωδικός για την ενεργοποίηση μη-γραμμικών νόμων ανισότρ. μέσω
short int exclude; // Αποτροπή εμφάνισης στην γραφική έξοδο, στοιχείων με το συγκ. υλικό
};
```

```
struct sanisotropicD{
float D[7][7]; //Αποθήκευση του  $[D]$  για ανισότροπο μέσο
float Drev[7][7]; //Αποθήκευση του  $[A]=[D]^{-1}$  για ανισότροπο μέσο
};
```

Δομή για τις τιμές των παραμέτρων μή-γραμμικής συμπ. για κριτήριο Amadei και ΕΠ σε βραχομάζα

```
struct sanisoplastic {
float beta[5],psi[5],phi[5],c[5],jrc[5],stensile[5]; //Στοιχεία διακλάσεων
float rot1[5],imin1[5],imax1[5],rot2[5],imin2[5],imax2[5]; //Ανισότροπη ολίσθηση
int joint_active[5],tensile_test[5]; //Κωδικοί για τους ελέγχους στις διακλάσεις
float mi,sc,alpha; //Παράμετροι άρρηκτου πετρώματος
int criterion; //Κωδικός για τον τύπο του κριτηρίου
int iso_criterion; //Κωδικός για κριτήριο του άρρηκτου πετρώματος (Hoek-Brown, Mohr-
Coulomb, Paraboloid)
};
```

Δομή για τις τιμές των παραμέτρων ΕΠ

```
struct sorthoplastic {
float beta,psi,rot; //Προσανατολισμός κύριου συστήματος ανισοτροπίας
float sc1,st1,sc2,st2,sc3,st3; //Παράμετροι αντοχής
};
```

Δομές για την απεικόνιση πολυγώνων

```
struct spolygon1 { //Δομή καταχώρησης τιμών στις κορυφές των πολυγώνων
float x1,y1,z1,x2,y2,z2,x3,y3,z3,x4,y4,z4; //Συντεταγμένες κορυφών
float value1,value2,value3,value4; //Τιμές στις κορυφές
};
```

```
struct spolygon2 { //Δομή καταχώρησης ραδιομετρικών τιμών στις κορυφ. πολυγ.
float x1,y1,z1,x2,y2,z2,x3,y3,z3,x4,y4,z4; //Συντεταγμένες
int r1,g1,b1,r2,g2,b2,r3,g3,b3,r4,g4,b4; //Ραδιομετρικές τιμές RGB στις κορυφές
};
```

Τάξη (αντικείμενο) για τους κύριους υπολογισμούς στα στοιχεία

```
class Kcube{
float x,y,z,h,E,n; //ιδιωτικές τιμές...
int type;
float DetJ;
void Calc_B(); //Υπολογισμός μητρώου [B]
void CalcDetJ(); //Υπολογισμός ορίζουσας Ιακωβιανής
public:
void input(int,float,float); //εισαγωγή βασικών παραμέτρων στοιχείου
void placeK(int); //Υπολογισμός μητρώου δυστροπίας – συναρμολόγηση στο καθολικό
μητρώο
void CalcGpStress(int,int,float); //Υπολογισμός τάσεων στα σημεία Gauss
void addInitialStress(float*); //Υπολογισμός αρχικών τάσεων
void destress(int); //Αποτόνωση
void Expand(int,int); //Εκσκαφή (ανενεργό)
void addAreaLoad(int,int,float); //Υπολογισμός επιφανειακών φορτίσεων
```

```

void addMassLoad(int,float);      //Υπολογισμός μαζικών φορτίων
void CalcResidual(int);          //Υπολογισμός ελλειμμάτων ισορροπίας στους κόμβους
void placetruss(int);            //Υπολογισμός στοιχείου δικτύωματος (ανενεργό)
};

```

Δομές φορτίων

```

struct sload{ //Συγκεντρωμένο φορτίο
int node;    //Κόμβος
int direction; //Διεύθυνση (x,y ή z)
float magnitude; //Μέγεθος
};

struct sareaload{ //Επιφανειακό φορτίο
int element,face,direction; //Στοιχείο, όψη, διεύθυνση
float magnitude; //Μέγεθος
};

struct smassload{ //Μαζικό φορτίο
int element,direction; //Στοιχείο, διεύθυνση
float magnitude; //Μέγεθος
};

```